

УДК 519.8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКТИВНОЙ ПРИМЕСИ ЕФЗ В АТМОСФЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА

Белосохова А.В.,

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук Распопов В.Е.

Сибирский федеральный университет

В связи с предстоящим строительством вблизи Красноярск Енисейского ферросплавного завода, возникает вопрос о влиянии выбросов этого завода на экологически значимую зону г. Красноярск и ближайших населённых пунктов.

Размещение Енисейского ферросплавного завода предполагается на территории бывшего ООО «Завод тяжёлого машиностроения» в Емельяновском районе на расстоянии 1,5 км от пос. Придорожный, 3,5 км от д. Старцево, 5 км от с. Шуваево и порядка 10 км от г. Красноярск.

Предполагаемое воздействие на окружающую среду Енисейского ферросплавного завода: выбросы загрязняющих веществ (далее – ЗВ) в атмосферный воздух от предприятия составят 4207 т/год по 37 ингредиентам, в том числе:

ЗВ 1 класса опасности: свинец и его неорганические соединения – 0,00004 т/год;

ЗВ 2 класса опасности: марганец и его соединения – 184,7 т/год, оксид кальция – 26,4 т/год, триоксид диалюминия – 11,5 т/год;

ЗВ 3 класса опасности: серы диоксид – 2695,0 т/год, азота диоксид 344,3 т/год, пыль неорганическая – 83,8 т/год, азота оксид – 9,3 т/год, сажа – 8,1 т/год, оксид магния – 6,4 т/год;

ЗВ 4 класса опасности – оксид углерода – 815,7 т/год.

В работе с помощью двух математических моделей численно исследуется распространение агрегированной примеси в атмосфере.

Пусть $q(t, x, y, z)$ - функция значения, которой в момент времени t в точке (x, y, z) трёхмерного евклидова пространства E^3 совпадают со значениями концентрации некоторого вещества (примеси) в этой точке.

Сначала для расчёта средних значений концентрации примеси в экологически значимой зоне в работе применяется гауссова модель распространения примеси (или модель Сеттона). Согласно этой модели, изменения концентрации примеси от непрерывного точечного источника примеси подчиняется нормальному закону распределения:

$$q(t, x, y, z) = \int_1^{t_k} \frac{Q e^{\left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right)}}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dt, \quad (1)$$

где $q(t, x, y, z)$ – концентрация вещества, (x_0, y_0, z_0) – координаты источника примеси; Q – коэффициент, характеризующий мощность источника примеси; V_x –

коэффициент, характеризующий скорость ветра; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - средние квадратичные отклонения частиц примеси в момент времени t соответственно вдоль координатных осей OX, OY, OZ:

$$\sigma_x^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_x(z) dz \quad \sigma_y^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_y(z) dz \quad \sigma_z^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_z(z) dz, \quad (2)$$

здесь K_x, K_y, K_z – коэффициенты турбулентной диффузии вдоль координатных осей OX, OY, OZ; h - высота приземного слоя.

Для проведения численных расчетов по формуле (1), покрываем расчётную область равномерной сеткой (x_i, y_j, z_k) с шагами $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ вдоль осей OX, OY, OZ соответственно.

Средние квадратичные отклонения частиц примеси в момент времени t вдоль координатных осей OX, OY, OZ пользуясь формулами (2) можно записать в виде:

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_0 V_{x1} z^n dz = \frac{2K_0 V_{x1} h^n}{n+1}, K_0 \approx 0,1 \div 1, n \approx 0,15 \quad (3)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_z(z) dz = \frac{2K_1 h^m}{m+1}, K_1 \approx 0,1 \div 3, m \approx 1 \quad (4)$$

где V_{x1} – коэффициент, характеризующий скорость ветра при $z=1$.

Определив по формулам (3), (4) во всех узлах сетки (x_i, y_j, z_k) вспомогательные параметры $(\sigma_x(z_k), \sigma_y(z_k), \sigma_z(z_k))$, аппроксимируем интеграл суммой:

$$q(t, x_i, y_j, z_k) = \sum_{l=1}^T \frac{Q e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{(x_i - x_0 - V_x(z_k) \Delta t)^2}{(\sigma_x(z_k))^2 l \Delta t} + \frac{(y_j - y_0)^2}{(\sigma_y(z_k))^2 l \Delta t} + \frac{(z_k - z_0)^2}{(\sigma_z(z_k))^2 l \Delta t} \right)}}{(\sqrt{2\pi l \Delta t})^3 \sigma_x(z_k) \sigma_y(z_k) \sigma_z(z_k)} \Delta t, \quad (5)$$

где $V_x(z) = V_{x1} \left(\frac{z}{z_1}\right)^n$, где $z_1 = 1$;

$T = \left[\frac{t}{\Delta t}\right]$, где t - время действия соответствующего источника, Δt - шаг дискретизации по времени, $t > 0$.

Для реализации гауссовой модели рассеяния примеси в атмосфере была составлена компьютерная программа на языке C++. Полученные результаты расчётов представлены в виде таблиц, а также визуально отражены на карте г. Красноярска. Один из результатов расчётов представлен на следующем рисунке.

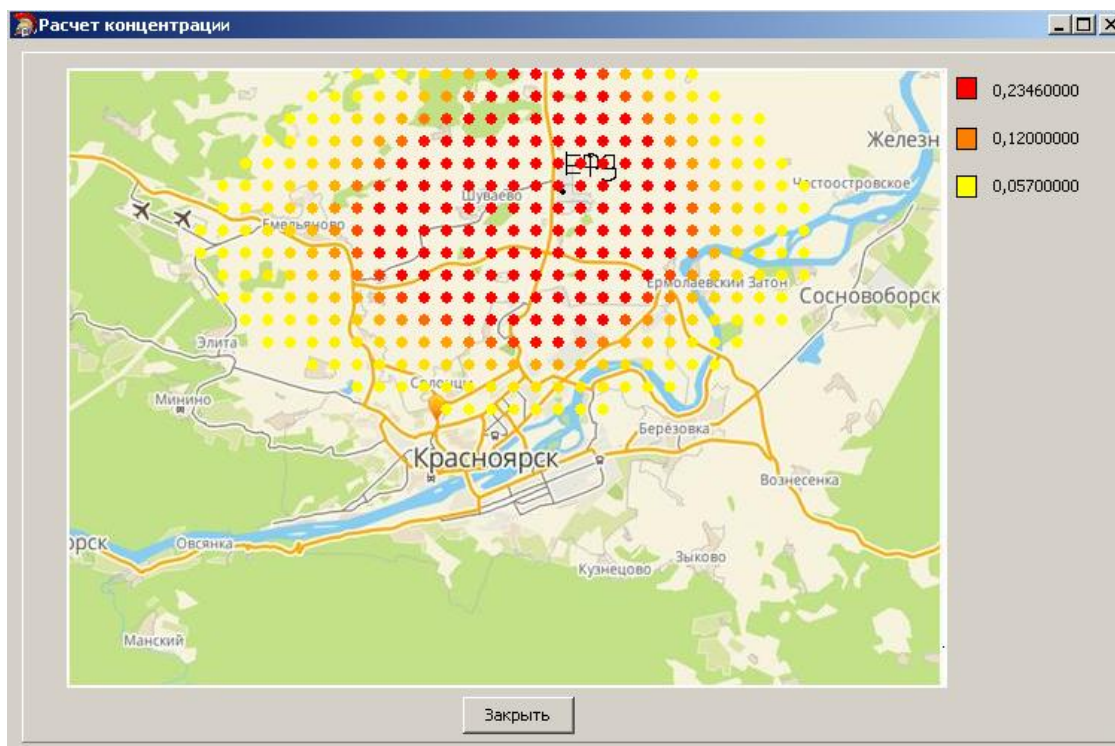


Рис. 1. Пример визуального представления расчетов

Заметим, что гауссова модель рассеяния примеси даёт результаты, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными, но только для источников примеси, расположенных на небольшой высоте и действующих в течение небольшого промежутка времени. Поэтому наряду с приведённой моделью рассмотрена математическая модель, основанная на уравнении конвекции-диффузии.

$$\frac{\partial q}{\partial t} + V_x \frac{\partial q}{\partial x} + V_y \frac{\partial q}{\partial y} + V_z \frac{\partial q}{\partial z} + \alpha q = \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial q}{\partial z} + f(t, x, y, z), \quad (6)$$

с начальным $q_0(t_0, x, y, z) = \varphi(x, y, z)$ и граничными $K_z \frac{\partial q}{\partial z} = 0$ при $z = z_0$ условиями, где $V = \langle V_x, V_y, V_z \rangle$ - вектор скорости частиц примеси;

α - коэффициент, характеризующий химическую активность примеси;

$f(t, x, y, z)$ - функция, характеризующая источник примеси.

Для численного решения уравнение (6) аппроксимируется схемой предиктор-корректор, которая имеет второй порядок аппроксимации по всем переменным и абсолютно устойчива.

Проведённые расчёты показывают, что велика вероятность формирования метеорологических условий, способствующих накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы после строительства ЕФЗ. В этих условиях возникает риск повышения загрязнения атмосферного воздуха в г. Красноярске и близлежащих населённых пунктах.